

CLIPPEDIMAGE= JP410300970A

PAT-NO: JP410300970A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 10300970 A

TITLE: OPTICAL FIBER ELEMENT AND OPTICAL FIBER CONNECTING METHOD

PUBN-DATE: November 13, 1998

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

KASHIWADA, TOMONORI

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

N/A

APPL-NO: JP09107610

APPL-DATE: April 24, 1997

INT-CL (IPC): G02B006/255;G02B006/00 ;G02B006/10

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide the optical element which is constituted by connecting different kinds of optical fiber and has small connection loss and to provide the heterogeneous optical fiber connecting method which has small connection loss.

SOLUTION: Relating to the optical fiber element 10 constituted by connecting the two optical fibers 1 and 2 having different MFDs (mode field diameter) by fusion splicing, the MFD changes continuously along the axis and the MFD value at the fusion splicing point is a maximum value larger than the MFDs of stationary parts of the optical fibers 1 and 2. Consequently, the MFDs at connection points become equal and electric field distributions matches, so the connection loss is reduced. This optical fiber element 10 can be formed by performing heating the circumference of the connection part of the optical fiber 2 with such a distribution that higher heat energy is applied to a side closer to the connection point after the optical fibers 1 and 2 are connected by fusion splicing, and then diffusing a dopant and increasing the MFD.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-300970

(43) 公開日 平成10年(1998)11月13日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 2 B 6/255

G 0 2 B 6/24

3 0 1

6/00

6/10

6/10

6/00

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号

特願平9-107610

(22) 出願日

平成9年(1997)4月24日

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 柏田 智徳

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

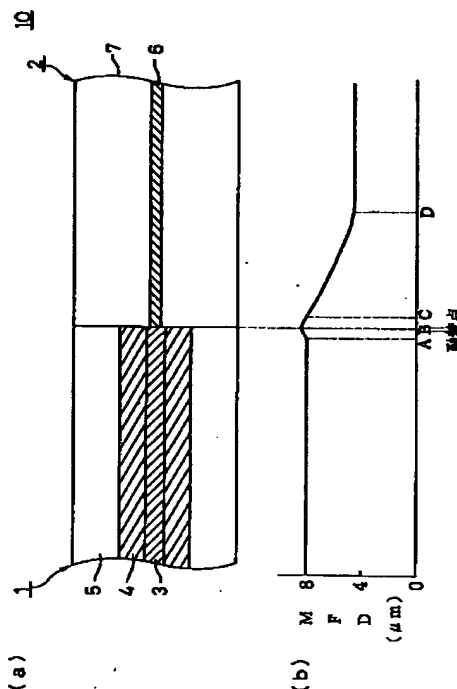
(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54) 【発明の名称】 光ファイバ素子及び光ファイバ接続方法

(57) 【要約】

【課題】 異種光ファイバを接続した接続損失の少ない光ファイバ素子及び接続損失の少ない異種光ファイバ接続方法を提供する。

【解決手段】 MFDの異なる2本の光ファイバ1、2を融着接続した光ファイバ素子10は、MFDが軸方向に連続的に変化しており、融着点のMFD値がそれぞれの光ファイバ1、2の定常部のMFDよりも大きい極大値となっている。これにより、接続点のMFDが一致し、電磁界分布が整合するので、接続損失が低減される。この光ファイバ素子10は、光ファイバ1、2を融着接続後、光ファイバ2の接続部近傍を接続点に近い側ほど高熱量を与えるよう分布加熱して、ドーパントを拡散させることによってMFDを拡大させて作成することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 コア及び／又はクラッドに添加されたドーパントの横断面内総量及び／又は横断面の屈折率分布の異なる2本の光ファイバを融着接続後、接続部を軸方向に分布加熱することを特徴とする光ファイバ接続方法。

【請求項2】 融着接続した前記2本の光ファイバの透過率を測定しながら前記分布加熱を行い、透過率が極大値に達した時点でこの加熱処理を停止することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ接続方法。

【請求項3】 前記軸方向分布加熱は、主として定常部のモードフィールド径の小さい光ファイバ側を対象として行われることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ接続方法。

【請求項4】 コア及び／又はクラッドに添加されたドーパントの横断面内総量及び／又は横断面の屈折率分布の異なる2本の光ファイバを備え、前記2本の光ファイバの融着接続された接続部が軸方向に分布加熱されていることを特徴とする光ファイバ素子。

【請求項5】 前記異なる2本の光ファイバのうち1本が分散補償ファイバであることを特徴とする請求項4記載の光ファイバ素子。

【請求項6】 前記異なる2本の光ファイバのうち1本がエルビウムドープ光ファイバであることを特徴とする請求項4記載の光ファイバ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、異なる屈折率分布を持つ光ファイバを接続した光ファイバ素子及びその接続方法に関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバ網には、材質や屈折率分布の異なる様々な光ファイバ素子が用いられている。これらのモードフィールド径(MFD)の異なる光ファイバをそのまま接続した場合、電磁界分布の不整合により接続部で放射損失を招くことになる。そのため、従来は、2530823号特許に記載されているTEC (Thermally Expanded Core) ファイバ技術を用いた接続が行われてきた。この技術の工程を図16に示す。まず、MFDが小さな光ファイバ1側の端部をバーナー12等を用いて加熱処理することにより、ドーパントを拡散させて端部のMFDを拡大する(同図(a)参照)。次に、この光ファイバ1を接続するMFDが大きな光ファイバ2のMFDと一致するMFD位置で切断する(同図(b)参照)。続いて、このMFDを一致させた部分で2つの光ファイバ1、2を電極11間の放電を利用して融着接続する(同図(c)参照)。こうして接続部のMFDを一致させた光ファイバ素子10を製造していた(同図(d)参照)。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、実際の光ファイバでは、製造工程などにより個々の光ファイバのMFDが異なるため、両者のMFDを正確に揃えることが困難である。また、仮に接続前にMFDを揃えたとしても、融着接続時の軸ずれなどにより、電磁界分布が整合せず、接続損失が起こるおそれがあった。

【0004】本発明は、異種光ファイバを接続した接続損失の少ない光ファイバ素子及び接続損失の少ない異種光ファイバ接続方法を提供することを課題とする。

10 【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の光ファイバ接続方法は、コア及び／又はクラッドに添加されたドーパントの横断面内総量及び／又は横断面の屈折率分布の異なる2本の光ファイバを融着接続後、接続部を軸方向に分布加熱することを特徴とする。

【0006】これにより、ドーパントが拡散されて、MFDが拡大し、接続された光ファイバのMFDは接続部で連続的に変化するよう揃えられる。

【0007】さらに、融着接続した光ファイバの透過率を測定しながら接続部の分布加熱を行い、透過率が極大値に達した時点で加熱処理を停止してもよい。これにより、接続された光ファイバは高い透過率を有する。

【0008】または、加熱処理は、主として定常部のMFDの小さい光ファイバ側を対象に行われてもよい。これにより、MFDの大きい光ファイバ側のMFD分布を変化させることなく、主としてMFDの小さい光ファイバ側のMFDを拡大して、接続部分近傍のMFD分布が連続的になるよう整えられる。

【0009】一方、本発明の光ファイバ素子は、コア及び／又はクラッドに添加されたドーパントの横断面内総量及び／又は横断面の屈折率分布の異なる2本の光ファイバを備え、これらの光ファイバの融着接続された接続部が軸方向に分布加熱されたものでもよい。これにより、融着部分のMFDが軸方向に連続的に変化する光ファイバ素子が得られる。

【0010】また、光ファイバ素子を構成するファイバの1本が分散補償ファイバ(DCF)であってもよい。これにより通常の光ファイバより高屈折率でMFDの小さいDCFと通常の光ファイバを接続した光ファイバ素子において、接続点におけるMFD変化が連続的になる。

【0011】あるいは、一本がエルビウムドープ光ファイバ(EDF)であってもよい。これにより通常の光ファイバよりMFDの小さいEDFと通常の光ファイバを接続した光ファイバ素子において、接続点におけるMFD変化が連続的になる。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を説明する。図1は、本発明の光ファイバ素子の一実施形態の断面図及びその軸方向のMFD分布を示

している。

【0013】図1(a)に示されるように、本実施形態の光ファイバ素子10は、分散シフトファイバである光ファイバ1と、シングルステップ型であるMFDの小さな特殊な光ファイバ2を接続したものであり、それぞれの光ファイバの主要パラメータを表1に示す。ファイバ外*

| | ファイバ1 | | ファイバ2 |
|-----------------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | 第1コア部3 | 第2コア部4 | |
| 屈折率差 | 0.85% | 0.08% | 2.5% |
| コア径 | 3.5 μm | 13 μm | 2.2 μm |
| MFD (波長1.55 μm) | 8 μm | | 4.5 μm |

【0015】光ファイバ1は、二重構造のコア部3、4の周囲にクラッド部5が設けられており、中心の第1コア部3の屈折率が最も高く、外側のクラッド部5の屈折率が最も低い階段状の屈折率構造になっている。一方、光ファイバ2は、高屈折率のコア部6の周囲に低屈折率のクラッド部7が設けられている。

【0016】図1(b)に示されるようにこの光ファイバ素子10のMFDの軸方向分布は、光ファイバ1から光ファイバ2に向かって連続的に変化している。より具体的にみると、MFDが大きな光ファイバ1側では、融着点の極近傍(図1(b)A参照)からMFDが大きくなり、融着点(同図B参照)でMFDが最大となった後、光ファイバ2側では、再び減少して、光ファイバ1の定常値を下回り(同図C参照)、そこからほぼ直線的にMFDが小さくなり、光ファイバ2の定常値(図1(b)D参照)に達する。MFD値がそれぞれの元の光ファイバのMFD値と異なる非定常部(同図A-D間)の長さは、MFD値の小さい光ファイバ2側(同図B-D間)がMFD値の大きい光ファイバ1側(同図A-B間)より長い。

【0017】MFDが連続的に変化しているため、導波モードから放射モードへ移行する現象が少なくなり、本素子の接続損失は0.1dB以下と低く抑えられている。

【0018】次に、図2～図5を参照して、この光ファイバ素子10の製造方法、すなわちこれらの2つの光ファイバ1、2の接続方法について説明する。図2は、この接続処理の工程を示す図である。図3は、この光ファイバ素子10のMFDの軸方向分布の時間変化を示すグラフであり、図4は、光ファイバ1、2のそれぞれの融着点近傍(図1(b)、図3に示すA、C点)におけるMFDの加熱時間に対する変化を示すグラフである。また、図5は、光ファイバ素子10の接続損失の時間変化を示すグラフである。

【0019】図2に示されるように、光ファイバ1、2の端面を向かい合わせて、コア位置を調整したうえで(同図(a)参照)、これらの端面を突き合わせて(同図(b)参照)、融着接続器により電極11間の放電を利用

*径はともに125 μm で同一である。波長1.55 μm におけるMFDは、光ファイバ1が8 μm 、光ファイバ2が4.5 μm と異なっている。

【0014】

【表1】

※して融着を行う(同図(c)参照)。その後、同図(d)に示されるように、融着点部分、主としてMFDの小さい光ファイバ2側をバーナー12により、加熱する処理を行う。この同図(d)のバーナー12上に図示した曲線は、同図(e)で示されるようなバーナー12上の各位置におけるバーナー12が与える熱量の分布曲線を模式的に表したものである。以下の図面において熱量分布を同様の熱量分布曲線によって表すものとする。同図(d)及び(e)に示されるようにバーナー12は、接続点部分に与える熱量が最大で、接続点から軸方向に離れるのに従って与える熱量が減少する熱量分布を有している。こうした熱量分布を与えるには、例えば、同図(f)に示されるようにバーナー12のガス流出孔を長手方向で接続点から離れるほど小さくなるよう変化させればよい。

【0020】このバーナー12は加熱対象の光ファイバ素子10の長手方向にあたる方向の長さが7mm、幅4mmであり、バーナー12と光ファイバ素子10の距離は3mmである。バーナー12は、燃焼ガスにプロパンガスを使用し、加熱条件は、プロパンガス流量が20cc/min、酸素流量が30cc/minである。

【0021】この加熱処理により光ファイバ2側では、ドーパントの拡散が起こる。屈折率を向上させるドーパントをコア部6に添加している場合は、このドーパントがクラッド部7に拡散することによりMFDが拡大する。反対に屈折率を低下させるドーパントをクラッド部7に添加している場合は、このドーパントがコア部6に拡散することにより同様にMFDが拡大する。図3中実線で示されるように、融着時 t_0 には、MFDは融着点Bで不連続である。ここで、融着点近傍のMFDの上昇は、融着時の加熱によるドーパント拡散に伴うものである。加熱処理によるドーパントの拡散に伴って、光ファイバ2側のMFDは拡大する。接続点近傍ほど与えられる熱量が大きいので、MFDの拡大も速く進行する(図3の時刻 t_1 の時点)。時刻 t_2 で、融着点Bで双方のMFDが一致し、軸方向にMFDが連続的に変化するようになる。ここまでの加熱処理に要する時間は約10分である。

【0022】接続点部分のMFDが大きくなっているた

め、接続時に軸ずれがあった場合でも、接続点のMFDつまり電磁界分布の不整合の影響が抑えられる。したがって、融着時の軸ずれ損失を低下させる効果もある。

【0023】次に、図5を参照して、加熱処理時の光ファイバ素子10の接続損失の時間変化について説明する。図5に示されるように、光ファイバ素子10の接続損失は、突き合わせ時は1dBを超えるが、融着時の放電加熱によりドーパントが拡散するため、0.5dB程度に減少する。光ファイバ2側の加熱処理により接続部のMFDの差がなくなるのにしたがって、電磁界分布の不整合が解消されていくとともに接続損失は減少し、時刻 t_2 時点では、接続損失は約0.1dBまで減少する。

【0024】したがって、加熱処理の際に、光ファイバ素子10に光を透過させながら、その光の透過率を測定し、透過率が極大値に達した時点で加熱処理を中止すれば、必要以上にドーパントを拡散させずにすむうえ、安定した性能の光ファイバ素子を容易かつ確実に短時間で製作することができて好ましい。

【0025】本願発明者は、加熱処理方法による接続損失の差異を検討する実験を行った。図6(a)に示されるように光ファイバ1'、2'を接続点を中心にバーナー12'を用いて加熱処理を行った場合の処理結果を前述の実施形態の加熱処理結果と比較した。バーナー12'は、同図(b)に示されるように、接続点を中心に光ファイバ1'、2'側で熱量分布曲線が対称形になっているのが特徴である。図7は、この光ファイバ素子10'の加熱処理時におけるMFDの軸方向分布の時間変化を示すグラフであり、図8は、各々の光ファイバ1、2の融着点近傍(図7に示すA、C点)におけるMFDの加熱時間に対する変化を示すグラフである。また、図9は、光ファイバ素子10'の接続損失の時間変化を示すグラフである。以下、前述の主として光ファイバ2側を加熱処理する場合を実施例1、光ファイバ1、2双方を加熱処理する場合を実施例2と呼ぶ。

【0026】図7、図8で示されるように、実施例2では、光ファイバ1、2の双方を加熱処理しているため、両方の光ファイバ1、2でドーパントの拡散が起こり、MFDが時間と共に拡大していく。光ファイバ2側を主に加熱する実施例1の場合(図3、図4参照)に比べると、実施例2では、光ファイバ1側でもMFDの拡大が起こるため、双方のMFDを一致させるためには、その*

*分だけ光ファイバ2側のMFDも拡大させる必要がある。そのため、接続点で両方の光ファイバ1、2のMFDが一致するまでには実施例1よりも時間を要する。実施例2では、加熱処理に要する時間は約15分であり、実施例1より約5分間長くなる。

【0027】一方、実施例2の光ファイバ素子10の接続損失の加熱処理に伴う時間変化は、図9に示されるように、図5に示される実施例1の場合と同じような傾向で推移する。しかし、加熱処理が長時間におよぶために、光ファイバ1、2で透過損失が発生して損失が増大し、加熱処理終了時 t_3 でも接続損失は約0.3dBに達し、実施例1に比べて接続損失は大きくなる。この結果から、接続点のMFDの小さい光ファイバ側を重点的に加熱することにより、短い加熱処理時間で接続点のMFDを一致させ、最終的な接続損失も低下させることができることが確認された。

【0028】2本の光ファイバを接続して、接続部の片方の光ファイバ側を重点的に加熱するには、図2(a)に示したバーナー12の燃焼ガス流出孔を長手方向で変化させる技術の他に、図10に示されるような種々の技術を用いることができる。例えば、バーナー12aの前に熱遮蔽板13を設置して光ファイバ素子10に与える熱量を調整する技術(同図(a)参照)や、バーナー12bを傾けて使用することで光ファイバ素子10に与える熱量を調整する技術(同図(b)参照)、燃焼面自体に傾斜をつけたバーナー12cを使用することで光ファイバ素子10に与える熱量を調整する技術(同図(c)参照)等を用いることができる。

【0029】以上の説明においては、分散シフトファイバとシングルステップ型であるMFDの小さな光ファイバを接続する場合について説明したが、接続する光ファイバはこの組み合わせに限られるものではなく、MFDが異なる光ファイバであれば、各種の光ファイバの組み合わせに対して適用できる。

【0030】ここで、各種の光ファイバについてドーパント拡散によりMFDを適合させることができることを確認するため、本願発明者は、各種の光ファイバについて加熱処理に伴うMFDの変化を調べる実験を行った。表2は、実験に使用した光ファイバの特性パラメータを示したものである。

【0031】

【表2】

| | ファイバ1 | ファイバ2 | ファイバ3 |
|----------------------|-------------|--------------|--------------------------|
| 屈折率差 | 2.5% | 0.35% | 0.85% / 0.08% |
| コア径 | 2.2 μ m | 8.0 μ m | 3.5 μ m / 13 μ m |
| MFD (波長1.55 μ m) | 4.5 μ m | 10.0 μ m | 8 μ m |

【0032】ファイバ1は、高屈折率でコア径の小さいいわゆる分散補償ファイバ(DCF)であり、ファイバ2は、通常の通信ラインに用いられている1.3 μ m帯※50

※用シングルモードファイバ(SMF)であり、ファイバ3は、2重コア型の分散シフトファイバ(DSF)である。それぞれの加熱に伴うMFDの変化を図11に示

す。図よりMFDの最も小さいファイバ1のMFD増加が最も速く、MFDの最も大きいファイバ2では、MFDの増加は緩やかである。したがって、MFDの異なる光ファイバを接続して、接続部を加熱した場合、MFDの小さい光ファイバのMFD増加速度がMFDの大きい光ファイバのMFD増加速度を上回る。したがって、加熱処理により両者のMFDを一致させることが可能であることが確認できた。

【0033】こうした他の光ファイバを組み合わせた実施形態のいくつかについて以下に例示する。

【0034】まず第1の応用例として、図12を参照して、DCFに伝送用光ファイバであるSMFを接続した光ファイバ素子について述べる。DCFは、伝送用光ファイバと逆符号で大きな波長分散を備える光ファイバであり、これを通信ライン中に挿入して、伝送用光ファイバで発生した波長分散を相殺して零分散化するために使用されている。特に、既存の波長1.3 μ m帯の零分散光ファイバ網の使用波長を1.55 μ m帯に変更する際に、発生する1.55 μ m帯の波長分散を相殺するのに用いられている。

【0035】この光ファイバ網中の波長分散を相殺する*

| | DCF21 | SMF23、24 |
|-----------------------|-------------|--------------|
| 屈折率差 | 2.5% | 0.35% |
| コア径 | 2.2 μ m | 8.0 μ m |
| MFD (波長1.55 μ m) | 4.5 μ m | 10.0 μ m |
| 伝送損失 (波長1.55 μ m) | 0.40dB/km | — |
| 分散値 (波長1.55 μ m) | -90ps/nm/km | — |
| 長さ | 11.1km | — |

【0038】ここで、この加熱処理は、図13に示されるように、接続した光ファイバ素子20に光を出射する光源25と、光ファイバ素子20を透過した光の強度を測定する光パワーメーター26を接続し、融着部の加熱処理を行うバーナー27をコンピューター28により光パワーメーター26で検出した光強度を基にして制御することにより行われる。この加熱処理に伴う光強度の変化を図14に示す。

【0039】加熱処理の初期段階で光強度が低下しているのは、DCF側のMFDが拡大する過程で、接続部のMFD不整合によるモード変換が一旦増大するためと考えられる。その後、MFDの不整合の解消に伴い、接続部の損失が少なくなるため、光強度は増大していく。加※

| | 融着接続のみ (加熱処理なし) | 応用例1 (加熱処理あり) |
|------|-----------------|---------------|
| 接続損失 | 0.4dB/1ヶ所 | 0.1dB/1ヶ所 |
| FOM* | 191ps/nm/dB | 216ps/nm/dB |

*波長1.55 μ mの総分散を-1000ps/nmと想定

【0042】表4に示されるように、加熱処理によって接続損失が低下し、FOMも向上していることがわかる。したがって、従来の加熱処理を行わない光ファイバ素子に比べてDCFに負の波長分散値の大きなファイバ★50

*ためのDCFには、通常数km～数十kmという長いファイバ長のものが用いられる。しかし、ファイバ長が長いと、付加損失が増大し、ファイバの収容の点でも問題になる。ファイバ長を短くするためには、比屈折率差を大きくし、コア径を小さくすることによって、負の波長分散を大きくすることができる。しかし、同時にMFDが小さくなるため、接続損失が増大して、単位損失あたりの補償可能な波長分散値として定義される性能指数 (FOM: Figure of Merit) が低下するという問題がある。

【0036】この第1の応用例の光ファイバ素子20は、図12に示されるように所要の長さのDCF21をコイル22に巻き付けて、両端にSMF23、24を融着接続した後、接続部を前述のようにMFDが一致するまで加熱処理したものである。DCF21、SMF23、24のそれぞれの特性を表3に示す。DCF21は、SMF22、23に比べてMFDが小さいのが特徴である。

【0037】

20 【表3】

※熱開始後約450秒で光強度は最大になり、その後、光強度は低下していく。これは、DCF側のMFD拡大が早いと、SMF側のMFDより大きくなって再びMFDの不整合が起こるためである。この光強度が最大となる時点で加熱を停止することにより、MFDを整合せ、接続損失を小さくすることができる。

【0040】続いて、分散補償素子としての性能比較のため、融着接続後に加熱処理を行った場合と、行わなかった場合の光ファイバ素子20の接続損失とFOMを比較した結果を表4に示す。

【0041】

【表4】

★を用いることができ、DCFのファイバ長も短縮できる。このため、コイルの巻き数も減らすことができ、収納が容易になるなどの利点がある。

【0043】次に、第2の応用例として、図15を参照

して、EDFに通常の伝送用光ファイバであるSMFを接続した光ファイバ素子について述べる。EDFは、コアに Er^{3+} を添加したもので、石英系光ファイバが最低損失を示す波長1.55 μm 帯において光増幅機能を有するため、通信ライン中に用いる光増幅器や光ファイバレーザとして使用されている。EDFは、コア径を小さくし、比屈折率差を大きくすることにより増幅の光のパワー密度を向上させることで利得係数を大きくすることができる。そのため、伝送用光ファイバと接続した際に、MFDの不整合により信号光及び励起光パワーの結合効率が低下するなどの問題が起こりやすい。

*

| | EDF31 | SMF33、34 |
|-----------------------------|-------------------|--------------------|
| 屈折率差 | 2.00% | 0.35% |
| コア径 | 3.0 μm | 8.0 μm |
| MFD (波長1.55 μm) | 4.3 μm | 10.0 μm |
| Er 濃度 | 1000ppm | — |
| Al濃度 | 1.0% | — |
| 長さ | 20.0m | — |

【0046】加熱処理は前述の応用例1と同様の手法により行われる。光増幅素子としての性能比較のため、加熱処理を行った光ファイバ素子30と加熱処理を行わなかった光ファイバ素子30の両方について接続損失及び変換効率を比較した。ここで、変換効率とは、信号増幅※

※量(出力信号光パワー—入力信号光パワー)を入力励起光パワーで割った値である。光ファイバ素子30の作動条件を表6に、比較結果を表7にそれぞれ示す。

【0047】

【表6】

| | |
|----------|---------------------|
| 信号波長 | 1.552 μm |
| 入力信号光パワー | 0.5mW |
| 励起波長 | 1.48 μm |
| 入力励起光パワー | 80.0mW |
| 励起方向 | 後方向励起 |

【0048】

★30★【表7】

| | 融着接続のみ(加熱処理なし) | 応用例1(加熱処理あり) |
|------|----------------|--------------|
| 接続損失 | 0.4dB/1ヶ所 | 0.1dB/1ヶ所 |
| 変換効率 | 73% | 79% |

【0049】表7に示されるように、加熱処理によって接続損失が低下し、変換効率も向上していることが分かる。したがって、コア径を小さくし、比屈折率差を大きくすることにより、利得係数を大きくしても、EDFと伝送用光ファイバのMFDを整合させることができる。このため、高増幅率で結合効率も高い光増幅機能を有する光ファイバ素子を提供することができる。

【0050】応用例1、2のSMFのいずれかあるいは両方をDSFとしたり、両端ではなく片側だけにSMFあるいはDSFを接続した素子とすることもできる。このほかにも、MFDの異なるSMF同士を接続する素子などに本発明の技術を適用することができる。

【0051】

【発明の効果】以上、説明したように、本発明の光ファイバの接続方法によれば、異種光ファイバを融着接続後に接続部を軸方向に分布加熱することで、ドーパントを☆50

☆拡散して、接続部での軸方向のMFD分布を連続的に変化させるので、融着部分での軸方向の電磁界分布の変化が連続的になり、接続された2本の光ファイバの電磁界分布が整合するので、接続損失が低下する。

【0052】さらに、融着接続した光ファイバの透過率を測定しながら加熱を行い、透過率が極大値に達した時点で加熱処理を停止すれば、必要以上に長時間加熱することなく、短時間で接続損失の少ない光ファイバ接続を行うことができ、接続が容易かつ確実でかつ接続時間の短縮が可能になる。

【0053】特に、主として定常部のMFDの小さな光ファイバ側を対象に加熱処理を行えば、接続部分でのMFDの軸方向分布が連続的になるまでに要する時間が短縮されるので、長時間の加熱によって起こる透過損失が発生しないですむため、接続損失をさらに小さくすることができる。

【0054】また、本発明の接続方法によって製造された光ファイバ素子は、接続部分の電磁界分布が整合するので接続損失が低く抑えられる。

【0055】本発明の光ファイバ素子をDCFに伝送用光ファイバを接続したものとすれば、FOMの高い分散補償素子が提供できる。

【0056】一方、EDFに伝送用光ファイバを接続したものとすれば、高光増幅率で結合効率も向上させた光増幅素子が提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明にかかる光ファイバ素子の一実施形態の断面図及び軸方向のMFD分布図である。

【図2】本発明にかかる光ファイバの接続方法の一実施形態を示す図である。

【図3】図2にかかる光ファイバの接続工程におけるMFD分布の時間変化を示す図である。

【図4】図2にかかる光ファイバの接続工程における接続点近傍でのMFDの時間変化を示す図である。

【図5】図2にかかる光ファイバの接続工程における光ファイバ素子の接続損失の時間変化を示す図である。

【図6】本発明にかかる光ファイバの接続工程の他の加熱処理形態を示す図である。

【図7】図6にかかる光ファイバの接続工程におけるMFD分布の時間変化を示す図である。

【図8】図6にかかる光ファイバの接続工程における接

続点近傍でのMFDの時間変化を示す図である。

【図9】図6にかかる光ファイバの接続工程における光ファイバ素子の接続損失の時間変化を示す図である。

【図10】図2にかかる光ファイバの接続工程における加熱処理工程の他の実施形態を示す図である。

【図11】異なるMFDを有するファイバの加熱処理に伴うMFD変化を比較したグラフである。

【図12】第1の応用例の光ファイバ素子の構造図である。

10 【図13】図12に係る光ファイバ素子の加熱処理を示す概略図である。

【図14】図13にかかる加熱処理に伴う光ファイバ素子の接続損失の時間変化を示すグラフである。

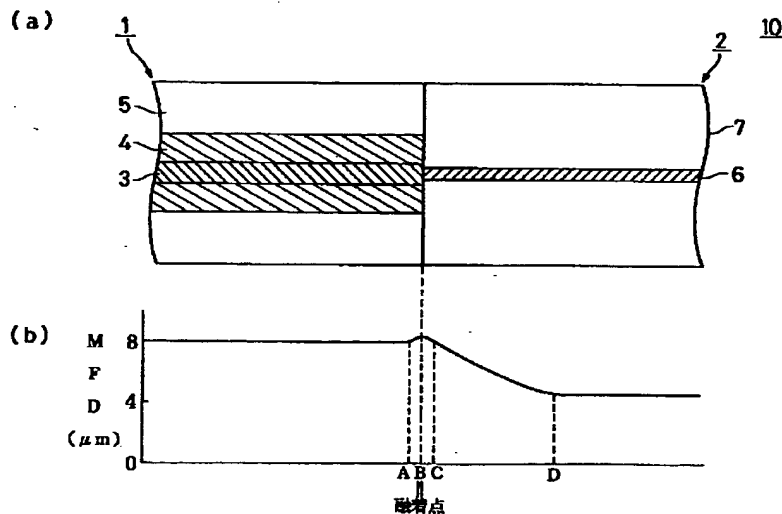
【図15】第2の応用例の光ファイバ素子の構造図である。

【図16】異種光ファイバの従来の接続工程を示す図である。

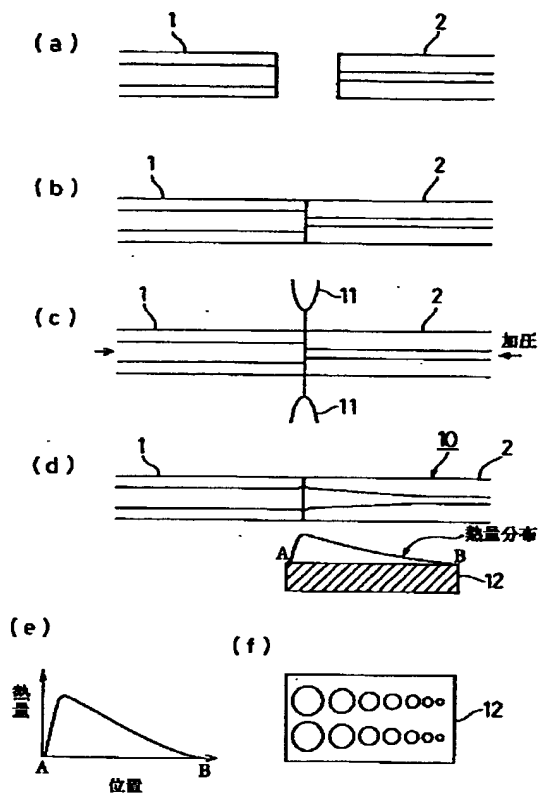
【符号の説明】

1、2…光ファイバ、3…第1コア部、4…第2コア部、5…クラッド部、6…コア部、7…クラッド部、10、20、30…光ファイバ素子、11…電極、12、27…バーナー、13…熱遮蔽板、21…DCF、22、32…コイル、23、24、33、34…SMF、25…光源、26…光パワーメーター、28…コンピューター、31…EDF。

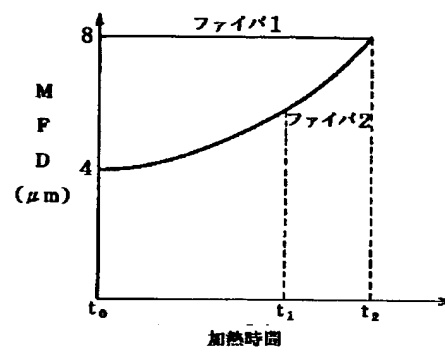
【図1】



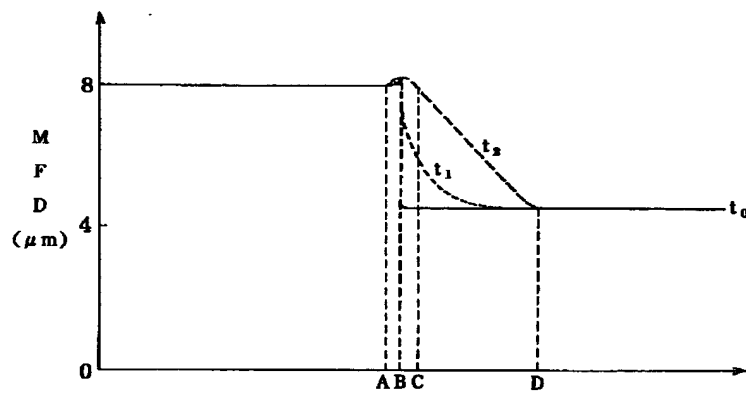
【図2】



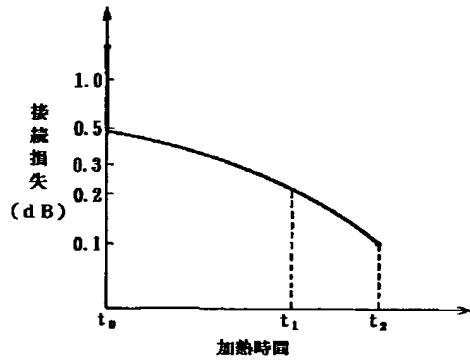
【図4】



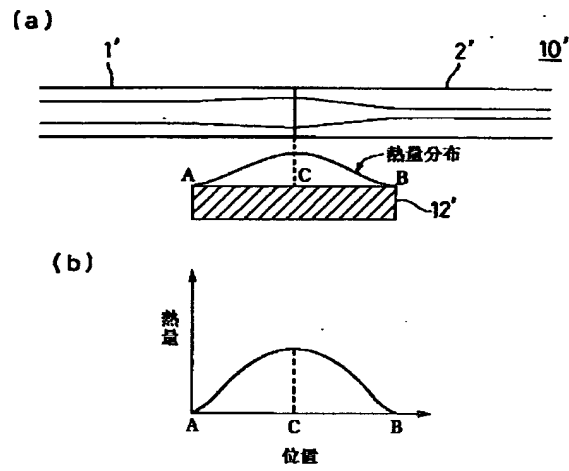
【図3】



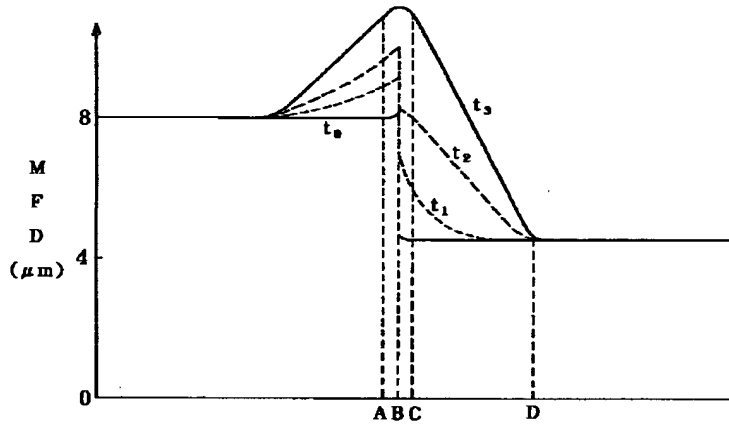
【図5】



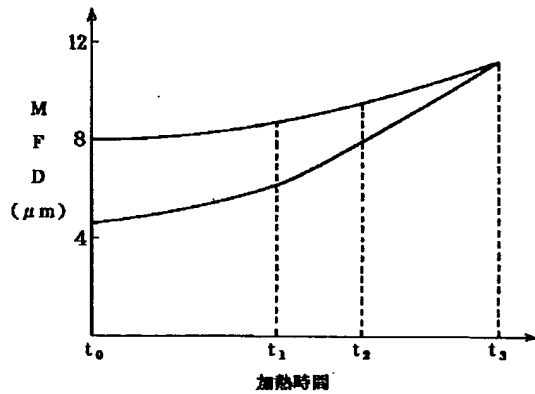
【図6】



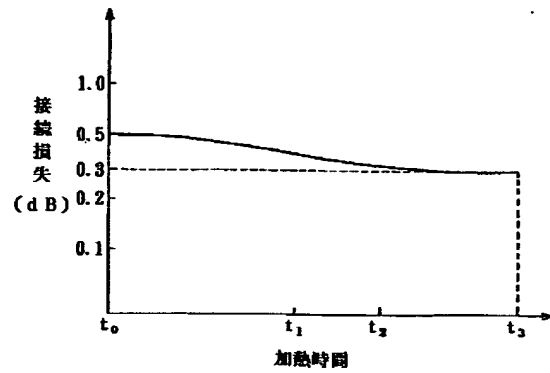
【図7】



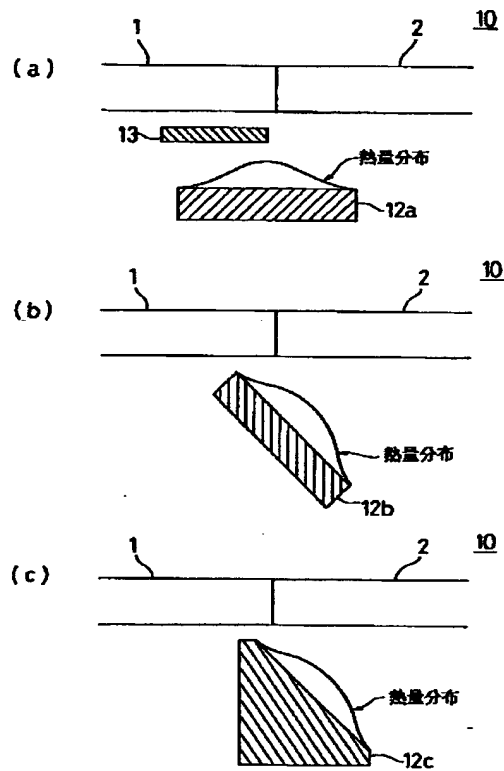
【図8】



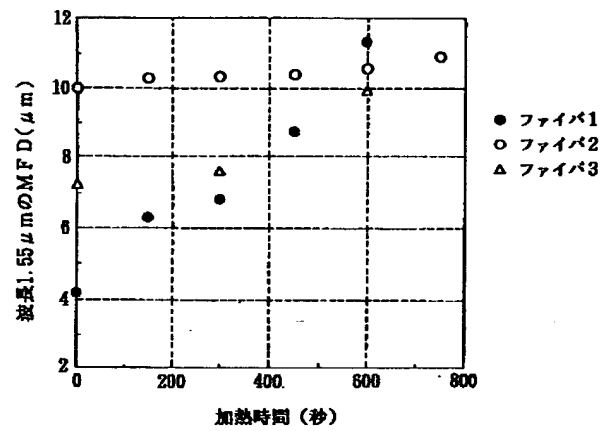
【図9】



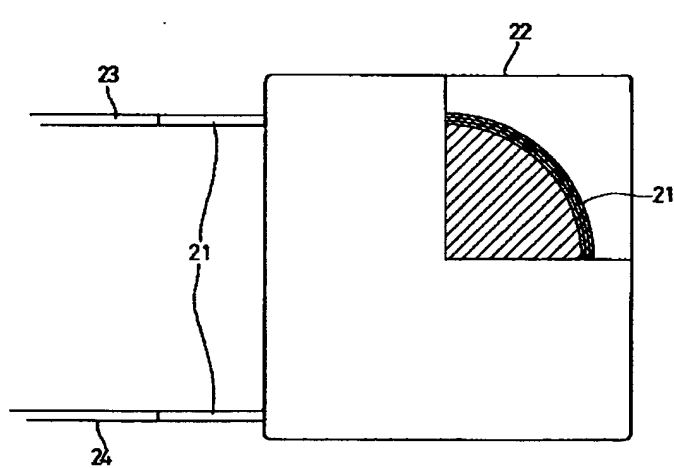
【図10】



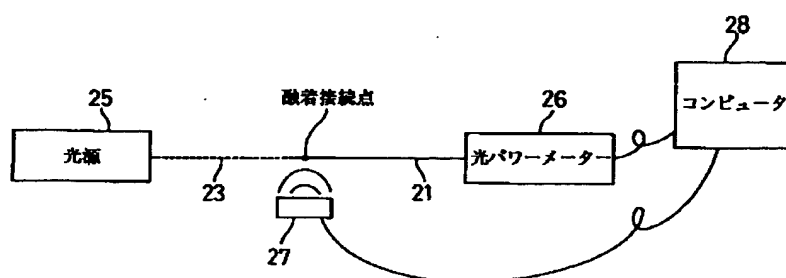
【図11】



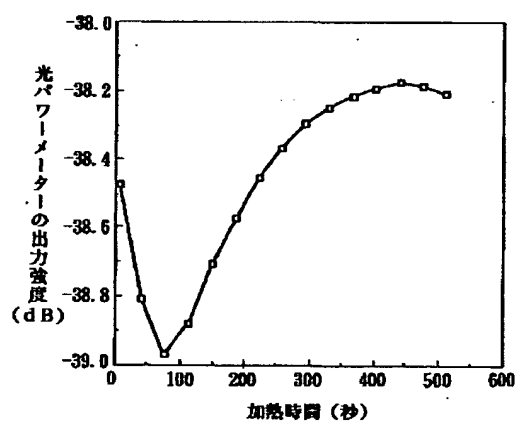
【図12】



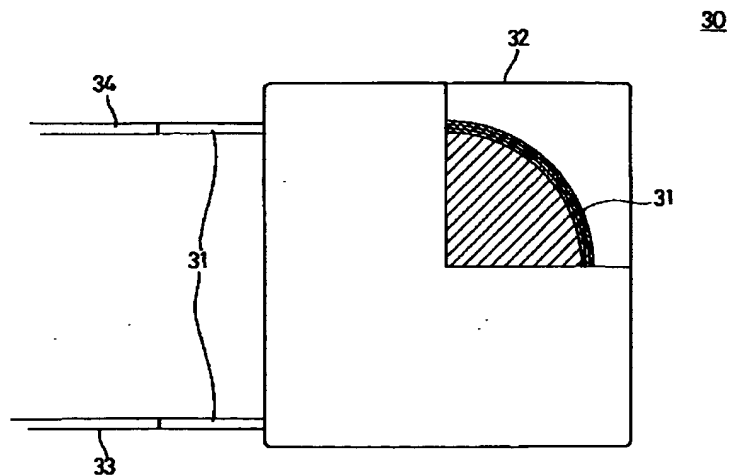
【図13】



【図14】



【図15】



【図16】

